

En el Cuadro 6 se muestra el tiempo y la velocidad de traslado de los caudales pico en el río Paraná.

**Cuadro 6**  
**Río Paraná: Tiempos medios de tránsito de los caudales y velocidades en determinados tramos**

Zona	Distancia (km)	Tiempo (días)	Velocidad (m/s)
Jupia - Guaira	499	4	1,4
Guaira - Posadas	664	2	3,8
Posadas - Corrientes	376	5-6	0,75-0,9
Corrientes - Rosario	788	30	0,3

Fuente. Ref. 5

Para el río Paraguay, la incidencia estacional de las inundaciones concuerda con la distribución de los caudales medios mensuales, aunque podría haberse esperado que la frecuencia de los picos de caudal en Puerto Bermejo fuera mayor más avanzado el año. El hecho de que estos picos se limiten al período entre mayo y julio refleja el impacto del almacenamiento en el Pantanal y la atenuación relativamente constante de los caudales de crecida.

En cuanto a la estacionalidad, el régimen de crecida más complejo es el del Uruguay, donde se dan dos estaciones de crecida bien diferenciadas, y donde la mayor probabilidad de que el pico de caudal máximo anual ocurra es en octubre (Ref. 5). El Uruguay y el Paraná están, por lo general, desfasados en cuanto a la ocurrencia de crecidas en un año determinado, hecho que se relaciona, sin duda, con el tamaño de la cuenca, la diferencia de almacenamiento natural y el régimen pluvial.

Sin embargo, este panorama de la distribución estacional de los caudales pico anuales resulta inconsistente con la ocurrencia de los mayores eventos registrados. De las diez mayores crecidas registradas en Posadas desde 1900, seis ocurrieron entre mayo y julio (ver Cuadro 2), cuando la probabilidad promedio de que haya aguas altas es relativamente baja. Esto se entiende por el hecho de que los eventos más extremos son la consecuencia de estados de caudal iniciales muy altos que deberían ocurrir en febrero y marzo. Además, se agregan los volúmenes provenientes de tormentas tardías, que tienden a generar los estados más críticos, tal como ocurrió en 1904/5, 1982/3, 1991/2, 1986/7, 1922/3 y 1928/9.

Sobre el Uruguay, existe una discrepancia similar entre la ocurrencia, en un año, de los estados de crecida "promedio" y extremas. Sólo uno de los diez eventos más importantes ocurrió en octubre, y siete tuvieron el pico entre abril y julio, aparentemente la menor de las dos estaciones de caudales altos.

Cualquier evento de crecida mayor en una cuenca significa apartarse del estado promedio, pero la ocurrencia y la duración de dicho apartamiento, por lo general, sigue un modelo, que a pesar de ser variable, es razonablemente bien definible. En base a este análisis de la historia y las características de la incidencia y la severidad -dada por la magnitud de los picos- de las

crecidas, es evidente que éste no es el caso de la Cuenca del Plata, ya que su hidrología de las crecidas es muy compleja, tanto en el espacio como en el tiempo.

El cambio en el régimen hidrológico regional se puede ver claramente graficando los caudales medios mensuales de las cuencas principales antes y después de 1960 (Figura 5). Los resultados son altamente significativos, tanto en el contexto estadístico como hidrológico. Hay una gran consistencia en distintos puntos dentro de la extensa cuenca, lo cual sólo puede justificarse por un cambio sistemático del régimen pluvial regional, tanto en cantidad total como en el patrón de estacionalidad.

Desde el punto de vista de las crecidas y de su ocurrencia, una consecuencia fundamental es que, en promedio, los caudales extremos partirán de caudales iniciales más altos que antes. Por lo tanto, se espera que aumenten los picos de caudal y la duración de los eventos (Ref.5).

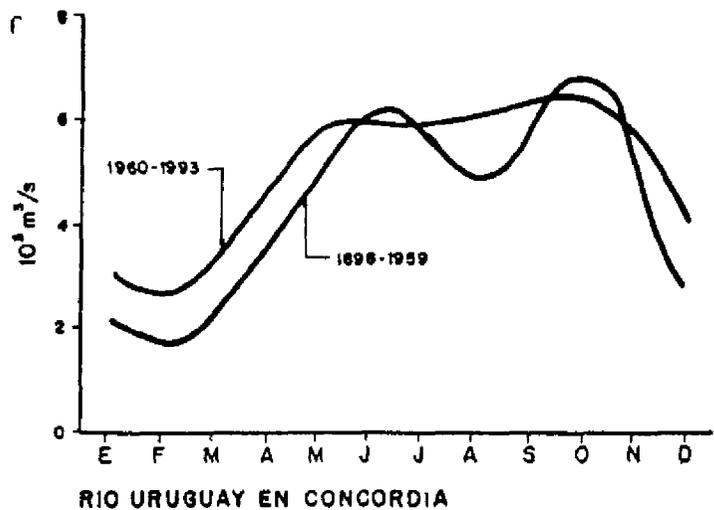
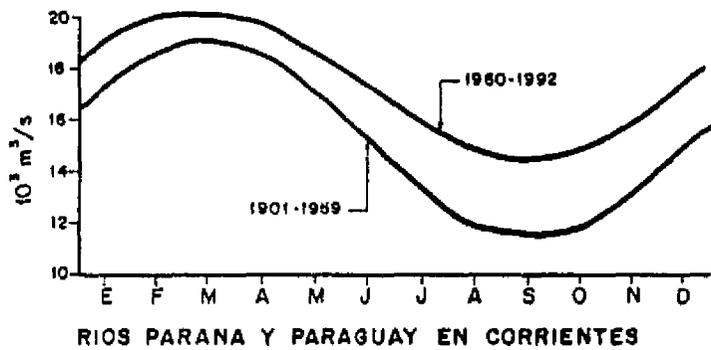
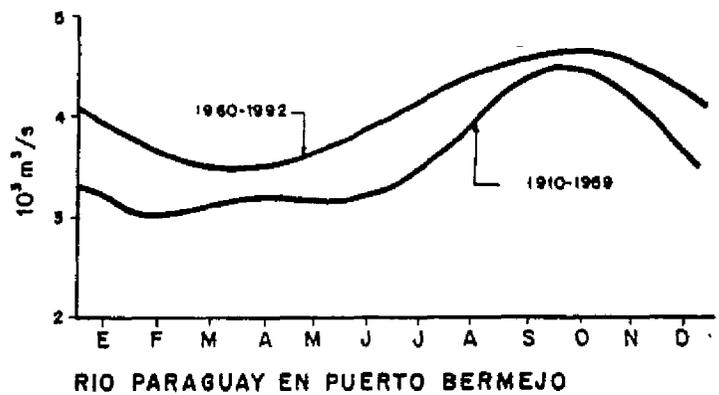
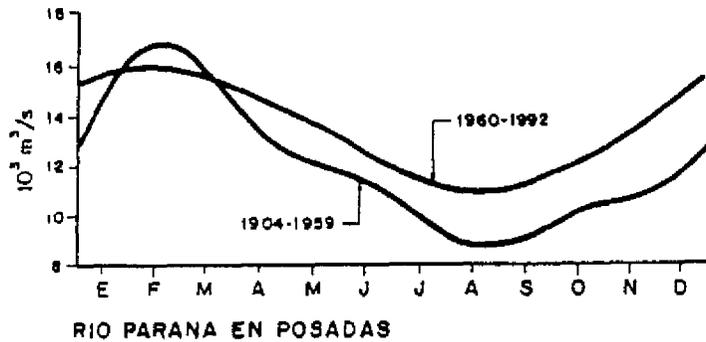
En un estudio del Banco Mundial (Ref. 2) se analizan tres cambios importantes que ocurrieron a partir de la década del '60, los que podrían haber afectado la hidrometeorología de la cuenca: cambios en el uso de la tierra, en especial la deforestación, que pudieron haber aumentado el escurrimiento; el desarrollo hidroeléctrico, principalmente en el Alto Paraná en Brasil, que provocó una mayor regulación y un régimen de caudales bajos más alto, y las precipitaciones durante la estación húmeda, que han sido más altas por lo menos desde 1960, y hacen suponer cambios climáticos, que pueden estar inducidos por el hombre.

Luego de un análisis sistemático de los datos sobre caudal (principalmente en Posadas y Corrientes), sus autores han concluido que las inundaciones fueron más frecuentes y más severas en la segunda mitad de este siglo; que, en el mismo período, los caudales bajos extremos han sido menos frecuentes y menos agudos; que el derrame anual total aumentó y la distribución estacional cambió; que las variaciones pluviales son las mayores responsables de los cambios en los caudales y en las inundaciones; que los cambios en la distribución estacional de los caudales también parecen estar relacionados con los cambios en el régimen pluvial, además del impacto de la operación de los embalses de aguas arriba y, finalmente, que no se encontró ninguna evidencia consistente, ni estadística ni de otro tipo, de que los cambios en el uso de la tierra hayan influido significativamente en el aumento de la incidencia y la severidad de las crecidas recientes.

También se suele considerar que el fenómeno de El Niño de 1982/3 fue el más importante del siglo. En el estudio citado (Ref.2) se indica que cuando la corriente de El Niño es anómala, las aguas cálidas ecuatoriales del Pacífico se encuentran mucho más hacia el este de lo usual, provocando el típico modelo de intensas lluvias sobre la Cuenca del Plata y a lo largo de la costa norte de Perú, haciendo que el clima se torne más seco en la región noreste de Brasil. En la última década ha habido eventos de El Niño moderados e importantes en 1982/3, 1986/7 y 1991/2, correspondientes a la mayoría de los episodios de crecida en los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay. Se puede concluir que es conveniente conocer las cuestiones climáticas asociadas a dichos episodios, a fin de poder predecir crecidas, si bien se debe anotar que las características espaciales y temporales de las anomalías climáticas no son del todo coherentes ni se han explicado suficientemente.

FIGURA 5

**CAUDALES MEDIOS MENSUALES,  
SERIE COMPLETA Y SERIE 1960-1992**



Ya se ha visto que, en general, ha aumentado la incidencia de las crecidas; el paso siguiente será establecer si la severidad cambió a través del tiempo. Existen evidencias de cambios en la severidad de los picos de crecida sobre el Paraná, pero se limitan a las cuencas media e inferior. En Jupiá y Guaira, las cantidades posteriores a 1960 caen dentro del intervalo de confianza del 90% de las cantidades estimadas de la muestra total. Esto no sucede ni en Posadas ni en Corrientes, ni sobre el río Uruguay (Ref. 5).

Por lo expuesto, se concluye que el régimen de crecidas de la Cuenca del Plata ha cambiado en forma significativa por lo menos a partir de 1960, tanto en cuanto a la incidencia como a la severidad de las inundaciones. La magnitud de dichos cambios es tal que sólo pueden explicarse por un cambio sistemático a nivel de la circulación atmosférica, lo que influye en el régimen pluvial.

El hecho de que existan evidencias estadísticas e hidrológicas fuertes sobre la discontinuidad del régimen de crecidas en la Cuenca del Plata tiene consecuencias fundamentales en la estimación del riesgo de inundación.

Los estudios estadísticos recientes (Ref. 5) se basan solamente en las muestras posteriores a 1960, considerando que estos datos representan el régimen hidrológico contemporáneo de las cuencas en estudio. No puede determinarse si los cambios posteriores a 1960 son permanentes o no, pero es conveniente señalar que podrían deberse a cambios inducidos por el hombre. Teniendo en cuenta esta posibilidad, no es aconsejable estimar el riesgo de caudales extremos usando todos los datos de los registros, ya que se subestimaría la magnitud del riesgo de crecida. Tal como se indica en el Cuadro 7, si se asocia un período de retorno al pico del evento de 1982/3 con el registro completo, los errores no serían menores.

**Cuadro 7**  
**RÍOS PARANÁ Y URUGUAY. PICOS DE CRECIDA E INTERVALOS DE RETORNO ASOCIADOS,**  
**CONSIDERANDO LA POBLACIÓN MUESTRAL COMPLETA Y EL REGISTRO POSTERIOR A 1960**

Río	Ciudad	Pico de crecida de 1982/3 (m <sup>3</sup> /s)	Intervalo de Retorno Estimado (años)	
			Todos los datos	Datos Posteriores a 1960
Paraná	Jupiá	28.160	98	93
Paraná	Guaira	39.850	184	84
Paraná	Posadas	50.882	123	94
Paraná	Corrientes	60.216	164	56
	<b>PROMEDIO</b>		140 años	82 años
Uruguay	Concordia	28.310	30	23
Uruguay	Paso de los Libres	35.990	92	54
Uruguay	San Javier	46.010	90	42
Uruguay	Santo Tomé	27.970	210	38
	<b>PROMEDIO</b>		105 años	40 años

Fuente: Ref 5

Por otra parte, no es suficiente usar solamente los caudales pico de las crecidas para describir el riesgo de inundación en cuencas muy extensas. La duración del suceso puede ser tan importante como el caudal, en especial en cuanto al daño económico. En el análisis multivariado de la incidencia y de la severidad de la inundación, resulta fundamental distinguir entre el pico de crecida, definido sólo por la crecida máxima, y el evento completo, definido por el hidrograma total, que incluye el pico de crecida *más* su duración *más* su volumen.

Al considerar la crecida como un evento, el intervalo de retorno de ese evento puede ser muy diferente al del pico. Dos eventos con los mismos picos de crecida pueden tener distintos intervalos de retorno, si uno de ellos tuvo más duración y por lo tanto más volumen.

El tema clave para encontrar una solución estadística operativa para el análisis de las crecidas como eventos, es que el volumen y la duración están íntimamente relacionados. Esto reduce el problema analítico a la identificación y estimación de un modelo de valores extremos bivariado del caudal pico y el volumen.

El Cuadro 8 compara el intervalo de retorno estimado del pico con el del evento de crecida total para los tres mayores eventos. Estas estimaciones sobre el riesgo integral resultan intuitivamente más interesantes que aquéllas basadas sólo en los picos; en especial, demuestran la combinación de pico y volumen de lo sucedido en 1982/3, que lo hacen tan excepcional en la historia de las crecidas.

**Cuadro 8**  
**COMPARACIÓN ENTRE LOS INTERVALOS DE RETORNO DE EVENTOS**  
**COMPLETOS Y DE CAUDAL PICO**

Sitio	Año del Evento	Intervalo de Retorno (años)	
		del evento	del pico
Posadas	82/3	> 200	40
	04/5	160	50
	91/2	70	33
Corrientes	82/3	>200	56
	04/5	110	20
	91/2	50	35
Concordia	1983	140	10
	1941	80	11
	1972	50	-

Fuente: Ref. 5

#### 4. Estimación de los Daños por Crecidas

La información histórica disponible permite estimar los daños directos de las inundaciones de 1982-83 y 1992, aunque con importantes salvedades respecto al grado de error y de comparabilidad entre los valores obtenidos (Ref. 5).

Estas salvedades se refieren a superposiciones en la contabilidad de algunos daños, o bien a daños que habrían sido omitidos por información incompleta; al empleo de metodologías que arrojan errores de cálculo significativos; a cambios importantes en la década del 80 respecto al grado de desarrollo de recintos y defensas para los núcleos urbanos más afectados; a falta de coincidencia, en varios casos, entre los valores aportados, por diversas fuentes, y a ausencia de cierta información.

Organismos oficiales y privados, investigadores, periódicos, etc., provinciales y nacionales, han realizado estudios y evaluaciones valiosas y aportado datos muy importantes.

Esta información y estudios, si bien dispersos y no siempre coincidentes en sus conclusiones, merecerían ser compilados y analizados, a fin de compensar el volumen de información directa sobre daños, que se perdió y que es irrecuperable como tal.

En las ciudades es donde hay que concentrar los esfuerzos, para mayor precisión en las evaluaciones de daños, por ser las áreas donde se concentra la mayor riqueza regional y la mayor parte de la población afectada.

Los valores básicos de los daños por las crecidas de 1982/83 y 1992 son los que figuran en los Cuadros 9 y 10.

**Cuadro 9**  
**DAÑOS POR LAS CRECIDAS 1982-83 DE LOS RÍOS PARANÁ, PARAGUAY Y URUGUAY (MILLONES DE DÓLARES DE AGOSTO 1983)**

Tipo de Daño	Provincia						Totales
	Misiones	Formosa	Chaco	Corrientes	Santa Fe	Entre Ríos	
* Evacuación y emergencia	0,2	24,5	16,2	4,6	7,8	2,3	55,6
*Viviendas y ed. públicos	25,0	80,8	93,8	37,4	20,6	33,3	290,9
* Agricultura	17,8	29,3	27,2	34,6	11,7	33,4	154,0
* Ganadería	-	21,9	8,8	22,6	8,4	34,4	96,1
*Ind., Com. y Servicios	35,6	102,4	107,7	114,4	16,8	43,1	420,0
*Infraestructura							
- Vial	4,9	62,9	8,2	20,8	83,8	70,3	250,9
- Ferroviaria	-	-	1,4*	-	-	36,8*	38,2
- Navegación	-	-	-	-	-	-	179,2
- Agua Potable y cloacas	0,6	1,8	2,6	0,4	4,1	0,8	10,3
- Infraestructura urbana	0,3	2,3	1,3	3,4	4,4	2,8	14,5**
* Mayores costos por corte de rutas	-	-	-	0,2*	-	4,2*	4,4
						<b>Total</b>	<b>1514,3</b>

\* Estimación

\*\* Incluye 0,2 x 10<sup>4</sup> US\$ en Buenos Aires

Fuente: Elaboración propia en base a Ref. 6

**Cuadro 10**  
**DAÑOS POR LA CRECIDA 1992 DE LOS RÍOS PARANÁ, PARAGUAY Y URUGUAY**  
 (En millones de US dólares de diciembre 1992)

Sector	Provincia							Totales	Porcentajes sobre 512,96 x 10 <sup>6</sup>
	Misiones	Formosa	Chaco	Corrientes	Santa Fe	Entre Ríos	Buenos Aires		
	V. Abs. (%)	V. Abs. (%)	V. Abs. (%)	V. Abs. (%)	V. Abs. (%)	V. Abs. (%)	V. Abs. (%)	V. Abs. (%)	
Evacuación y emergencia	1,35 (8,9)	4,04 (2,67)	1,85 (12,21)	2,70 (17,83)	1,35 (8,92)	1,35 (8,91)	2,50 (1,65)	15,14 (100)	2,94 %
Agricultura y ganadería	0,00 (0,00)	62,00 (33,58)	35,60 (19,28)	41,70 (22,57)	32,00 (17,32)	13,40 (7,25)	0,00 (0,00)	184,60 (100)	35,97 %
Industria, comercio y servicios	26,20 (9,32)	75,10 (26,71)	53,00 (18,85)	81,00 (28,81)	13,50 (4,80)	32,40 (11,52)	0,00 (0,00)	281,20 (100)	54,86 %
Gastos para ejecución de obras de defensa	2,50 (7,83)	16,00 (50,13)	3,00 (9,40)	2,00 (6,27)	5,12 (16,04)	2,50 (7,83)	0,80 (2,51)	31,92 (100)	6,23 %
<b>Totales</b> (% sobre total)	<b>30,05</b> (5,85)	<b>157,14</b> (30,54)	<b>93,45</b> (18,25)	<b>127,40</b> (24,84)	<b>51,97</b> (10,13)	<b>49,65</b> (9,67)	<b>3,30</b> (0,60)	<b>51296</b>	<b>100,0 %</b>

Fuente: Ref. 5

La información disponible global sobre la crecida de 1992 es menos completa que en el caso de la crecida 1982/83 y, por lo tanto, los datos sobre daños directos pueden tener un grado de error mayor.

Sería útil contabilizar los daños para las diferentes crecidas a un mismo nivel de la actividad económica (Cuadro 11). Sin embargo cabe aclarar que se trata de una estimación, ya que no se cuenta con información económica suficientemente desagregada, que muestre la evolución de la economía en las áreas realmente afectadas. Sólo es posible disponer de esa información por provincias, a nivel departamental y en algunos casos y períodos.

**Cuadro 11**  
**DAÑOS DIRECTOS PARA DIFERENTES CRECIDAS, PARA EL NIVEL DE ACTIVIDAD ECONÓMICA**  
**DEL AÑO DE CADA CRECIDA**  
 (en millones de dólares, de diciembre de 1992)

Daño (10 <sup>6</sup> US\$, de 1992)	Crecida	
	1982/83	1992
	2614	513

Fuente: Ref. 5

El único ajuste que se puede realizar, con relativa confiabilidad, a los daños históricos, es el referido a la moneda, calculando los daños en moneda constante a una fecha dada (Ref.5).

El valor de los daños por la crecida de 1992 resulta significativamente bajo, para la segunda crecida en importancia en cuanto a pico, siendo sensiblemente inferior, incluso, al de la crecida de 1966 (856 x 10<sup>6</sup> US\$ de 1992) para un pico menor (Ref. 5).

Se podría explicar en parte este resultado teniendo en cuenta la corta duración de la crecida y la existencia de recintos en la mayoría de los principales centros urbanos más amenazados por crecidas anteriores (Clorinda, Formosa, Goya, Resistencia, Santa Fe, Ibicuy y Paranacito) sobre el río Paraná.

Este segundo factor ha sido sustantivo para reducir los daños en que esos núcleos urbanos, salvo en los casos de Clorinda e Ibicuy, donde las aguas atravesaron o sobrepasaron las defensas urbanas, que no eran consideradas definitivas.

No se ha podido esclarecer si esta cifra baja de daños directos se debe exclusivamente a la presencia de tales recintos, o habría también errores de sub-evaluación de los daños.

Existe también información referida a daños intangibles, en particular respecto a áreas inundadas (Cuadro 12) y población evacuada (Cuadro 13).

**Cuadro 12**  
**AREAS INUNDADAS SEGUN DISTINTAS CRECIDAS**

Provincia	Crecidas (Áreas inundadas, en ha)	
	1982/83	1992
Formosa	s/d	177.000
Corrientes	310.000	227.000
Chaco	400.000	220.000
Santa Fe	1.600.000	1.232.000
Entre Ríos	40.000	1.270.000
Misiones	s/d	s/d
Buenos Aires	s/d	s/d
<b>Total</b>	<b>2.350.000</b>	<b>3.126.000</b>

Fuente: Ref. 5

**Cuadro 13**  
**POBLACION EVACUADA SEGUN DISTINTAS CRECIDAS**

Provincia	Crecidas (Población Evacuada)	
	1982/83	1992
Misiones	13.900	1.556
Corrientes	20.170	16.359
Chaco	90.352	5.249
Santa Fe	24.900	37.100
Entre Ríos	18.500	13.700
Formosa	67.043	47.423
Buenos Aires	s/d	1.296
<b>Totales</b>	<b>234.865</b>	<b>122.503</b>

Fuente: Ref. 5

Estas cifras reflejan, aunque de un modo limitado, el verdadero significado de los daños no medibles económicamente, pero que afectan las estructuras sociales y la calidad de vida de los sectores poblacionales más directamente afectados, al incidir en los parámetros de salud, de alimentación, de ocupación, etc.

Cabría agregar consideraciones en relación a daños indirectos como, por ejemplo, los impactos de las pérdidas agrícolas sobre la industria procesadora de alimentos y luego sobre otros sectores, que pueden ser significativos. Se han ideado algunas metodologías para estimarlos, basadas en el cálculo de pérdidas de valores agregados para las distintas actividades económicas (Ref. 5).

## **5. Programas de Mitigación**

Ante la grave situación producida por la crecida de 1992, el Gobierno de la República Argentina solicitó ayuda al Banco Mundial, aprobándose el Programa de Rehabilitación para la Emergencia de las Inundaciones por un monto de u\$s 318 millones, con financiamiento parcial del Banco mencionado y aportes del Estado Nacional y de las provincias afectadas (Ref. 4).

El Programa se ejecuta en el ámbito de la Secretaría de Asistencia para la Reforma Económica Provincial del Ministerio del Interior, estando a cargo de la Subunidad Central de Coordinación para la Emergencia (SUCCE) la supervisión y coordinación del accionar de Subunidades Provinciales, organismos encargados de su ejecución.

Su objetivo principal es restaurar la normal actividad económica y social de aproximadamente 4 millones de personas, en la región afectada por las inundaciones y suministrar un marco institucional sólido para la coordinación e implementación del programa global, con la finalidad de rehabilitar la infraestructura dañada por esas inundaciones.

Entre las acciones que abarca, cabe señalar la rehabilitación de obras de infraestructura (esencialmente de transporte, salud, educación y saneamiento) y de obras provisorias de atenuación ante crecidas; la reparación y construcción de viviendas para los pobladores ribereños de bajos recursos; el mejoramiento del sistema de pronóstico y de alerta hidrológico y la definición de los términos de referencia de los estudios básicos para el diseño de una solución integral al problema de las inundaciones en la región.

Como complemento indispensable del Programa de Rehabilitación, se encuentra en preparación un Proyecto de Protección contra las Inundaciones, a ser llevado a cabo entre 1996 y 2001, por un monto de US\$760 millones, con un financiamiento donde también interviene el Eximbank de Japón.

Tiene como objetivos proteger la vida y propiedad de 5,5 millones de habitantes y mejorar su calidad de vida, y garantizar el normal y pleno desarrollo de las actividades productivas y la integridad, seguridad y funcionamiento ininterrumpido de las vías de comunicación y transporte en el área de influencia de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay.

Como acciones a desarrollar, se prevén, entre otras, reforzar o complementar defensas y obras hidráulicas complementarias en lugares seleccionados; mejorar y ampliar los cauces naturales, para drenajes superficiales de las áreas urbanas protegidas y a proteger; definir pautas de planificación e implementación de las medidas de mitigación y el perfeccionamiento en la recolección y uso de la información, para el proceso de análisis y planificación; regular el uso del suelo para la planificación regional y local; establecer los aspectos institucionales y legales que garanticen el manejo integrado de la llanura de inundación; mejorar las medidas de alerta de crecidas, para hacer frente a futuras inundaciones, en particular, en zonas de menor prioridad económica.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido elaborado en base a valiosos estudios sobre la Cuenca del Plata, entre los cuales se destaca el preparado por un equipo integrado por la consultora Sir William Halcrow & Partners Ltd. y profesionales independientes, para la Subunidad Central de Coordinación para la Emergencia de la Secretaría de Asistencia para la Reforma Económica Provincial del Ministerio del Interior de la República Argentina (Ref.5).

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aisiks, E.G., La gran crecida del río Paraná de 1983, Revista de la Organización Techint, Buenos Aires, 1984.
2. Anderson, R.J., N. da Franca Ribeiro dos Anjos y H.F.Díaz, An Analysis of Flooding in the Paraná/Paraguay River Basin, The World Bank, Latin America & the Caribbean Technical Department, LATEN Dissemination Note 5, Washington, D.C., 1993.
3. Barberis, J., La Plata River Basin, United Nations Interregional Meeting on River and Lake Basin Development with Emphasis on the Africa Region, Addis Abeba, 1988.
4. Ministerio del Interior, Subunidad Central de Coordinación para la Emergencia, Programa de rehabilitación para la emergencia de las inundaciones. Informe descriptivo, estado de avance y estadísticas al 31/8/95, Buenos Aires, 1995.
5. Ministerio del Interior, Subunidad Central de Coordinación para la Emergencia, Estudio de regulación del valle aluvial de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el control de las inundaciones, Buenos Aires, 1994.
6. Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Secretaría de Recursos Hídricos, Informe de daños. Crecida 1982-83 de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay, Buenos Aires, 1984.
7. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Cuenca del Río de la Plata. Estudio para su planificación y desarrollo. Inventario de datos hidrológicos y climatológicos, Washington, D.C., 1969.

**Anexo 4.2/Appendix 4.2**

**CONTROLE DE CHEIAS NOS RESERVATÓRIOS DO SETOR  
ELÉTRICO BRASILEIRO NA BACIA DO ALTO PARANÁ**

*Por*

*Alcides Lyra Lopes e Vinicius Forain Rocha*

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é relatar a experiência do Setor Elétrico Brasileiro na área de controle de cheias na bacia do Alto Paraná. São apresentadas as causas mais relevantes que sensibilizaram esse setor a incluir, no planejamento da operação energética, medidas para a redução dos impactos das inundações nas áreas de influência dos seus reservatórios. É feita uma descrição sucinta das principais características físicas dos aproveitamentos hidroelétricos e dos problemas inerentes ao conflito entre a geração de energia e o controle de cheias.

O trabalho dá ênfase às metodologias de cálculo dos volumes de reserva e às regras de operação estabelecidas pelo GCOI, assim como relata outras medidas para aumentar a eficiência do controle de cheias. São apresentados alguns resultados práticos positivos, obtidos em eventos de cheias ocorridos em 1992, bem como as perspectivas de aprimoramento e desenvolvimento nesta área.

## ABSTRACT

This paper describes the experience of the Brazilian Electric System in flood control at Parana river basin, and present the factors that caused the inclusion of the consideration of flood impacts in the energy operation planning studies. there is a brief description of the main characteristics of hydraulic plants and the problems caused by the conflict between energy generation and flood control.

This paper emphasizes the adopted methodologies to calculate the flood control volumes and operation rules established by GCOI, and states additional ways to increase flood control efficiency. We also present practical results obtained in 1992 and possible improvements in this area.

## SUMARIO

- 1) Introdução
- 2) O Problema do Controle de Cheias para o Setor Elétrico
- 3) Planejamento para Operação de Controle de Cheias
- 4) Aplicação à Bacia do Alto Paraná
- 5) Análise da Experiência Operativa

## **1. Eletrobras Introdução**

O sistema brasileiro de geração de energia elétrica é um sistema hidrotérmico com forte predominância de geração hidráulica. Em 1994, a geração hidráulica foi responsável por mais de 98% da energia produzida de 271.300 GWh. Neste ano, a capacidade total instalada no país, considerando 50% de Itaipu, era de 55.400 MW e as usinas hidroelétricas representavam 93% deste total. As instalações de geração e transmissão pertencem a diversas empresas e estão interconectadas segundo dois grandes Sistemas Interligados: Norte/Nordeste e Sul/Sudeste.

Esse parque hidroelétrico é hoje constituído por um conjunto de mais de setenta usinas e reservatórios, localizados em várias bacias hidrográficas. A interdependência operativa entre as usinas e a interligação dos sistemas de transmissão das empresas trouxeram a necessidade da coordenação da operação do sistema. Nos sistemas interligados Norte/Nordeste e Sul/Sudeste esta tarefa cabe ao Grupo Coordenador para Operação Interligada - GCOI, criado pela Lei 5899 de 05 de julho de 1973 e regulamentado pelo Decreto 73102 de 07 de novembro de 1973, sendo formado pelas empresas estaduais e federais de energia elétrica sob a coordenação da ELETROBRAS, através da sua Diretoria de Operação de Sistemas.

Os aproveitamentos hidráulicos do setor elétrico brasileiro, embora planejados e construídos visando a produção de energia elétrica, vêm também sendo utilizados para múltiplas finalidades, dentre as quais destaca-se o amortecimento de cheias.

## **2. O Problema do Controle de Cheias para o Setor Elétrico**

O efeito de regularização propiciado pela criação dos reservatórios dos aproveitamentos hidroelétricos faz com que a jusante dos mesmos as cheias de menor porte, ou de menor tempo de recorrência, ocorram menos freqüentemente. Em consequência deste fato, áreas ribeirinhas a jusante desse aproveitamentos, que eram periodicamente inundadas, passaram a ser mais seguras e, portanto, atrativas para utilização e ocupação. O aproveitamento econômico e social dessas áreas pelas populações e instituições locais traz para o Setor Elétrico novas variáveis a serem consideradas na operação dos sistemas.

Essas novas variáveis, constituídas pelas descargas de restrição dos aproveitamentos, criam impactos na forma de operar os reservatórios do Setor Elétrico, pois ao objetivo primário de geração de energia soma-se o de controle de cheias.

Sob o ponto de vista da produção de energia, a ocorrência de precipitações intensas na estação chuvosa é sempre desejável, pois permite recuperar os volumes armazenados nos reservatórios e aumentar a capacidade de atendimento ao mercado. Por outro lado, sob o ponto de vista de segurança do aproveitamento e dos agentes econômicos instalados em regiões a jusante dos reservatórios, as chuvas intensas e as elevadas afluições decorrentes podem significar riscos de rompimento das restrições e prejuízos ambientais, sociais e econômicos de vulto.

Para efetuar o controle de cheias, o Setor Elétrico prevê a alocação de volumes vazios nos reservatórios, durante os períodos chuvosos das regiões onde estes se localizam, capazes de absorver

parcelas determinadas das afluições, evitando ou reduzindo o impacto de danos causados por inundações a jusante. É fácil entender que estas medidas geram um conflito, pois contrariam frontalmente o objetivo da produção de energia elétrica, cujo interesse é utilizar os reservatórios sempre que possível, em sua capacidade máxima de armazenamento.

A manutenção de volumes vazios nos reservatórios do Sistema Interligado conduz a um aumento do risco de que os mesmos não sejam totalmente recuperados até o final da estação chuvosa. Isto traz como implicação uma redução nas disponibilidades energéticas e, por se tratar de um sistema hidrotérmico, um aumento do risco de geração térmica futura e de déficit de energia.

O estabelecimento dos valores ótimos dos volumes vazios a serem alocados nos reservatórios deveria levar em consideração, além dos aspectos hidrológicos, a minimização da relação entre o custo operativo adicional do Setor Elétrico e o benefício econômico promovido pelo controle de possíveis cheias. Como o levantamento de tais benefícios é de difícil consecução, optou-se por uma decisão baseada numa alternativa de alocação de volume para controle de enchente que propicie a proteção contra cheias de uma determinada garantia, e que não acarrete apreciável aumento do risco de déficit e de geração térmica no Sistema Interligado.

### **3. Planejamento para Operação de Controle de Cheias**

No planejamento da operação hidráulica dos reservatórios dos sistemas interligados brasileiros, objetivando o controle de cheias, são consideradas duas etapas. Na primeira, chamada de prevenção, os órgãos responsáveis pela operação dos sistemas dotam-se de recursos físicos e materiais para o controle de enchentes.

Os recursos físicos são os volumes vazios deixados nos reservatórios para proteção de restrições de jusante, chamados de volumes de espera, para amortecimento de cheias de magnitudes até o correspondente tempo de recorrência adotado, bem como os rebaixamentos para proteção de restrições a montante.

Os recursos materiais para o controle de cheias correspondem às redes de medição e previsão hidrometeorológicas e sistemas de transmissão de dados, de forma que a manipulação dessas informações forneça elementos para decisões operativas mais adequadas dentro cada situação.

Em uma segunda etapa, caracterizada pela definição de regras de operação para o controle de cheias, são elaboradas todas as medidas que devem ser tomadas durante a ocorrência de cheias, tanto de caráter administrativo como técnico. As medidas administrativas compreendem o estabelecimento de responsabilidades nas decisões operativas entre as diversas pessoas e órgãos envolvidos na operação e o acionamento de equipes para execução de tarefas de emergência, tais como, o aviso ou a remoção de moradores ribeirinhos etc.

As medidas técnicas tratam principalmente da coleta, processamento e análise dos dados operativos observados no sistema, visando a sua utilização para quantificação e previsão das afluições, e das decisões operativas indicadas pelas regras de operação para controle de cheias estabelecidas. Estas regras são um conjunto de instruções através das quais são definidas operações hidráulicas que promovam a contenção de cheias, mas que, prioritariamente, garantam a segurança

do sistema hidráulico e/ou reservatório, tendo em vista as condições operativas caracterizadas pelos níveis d'água nos reservatórios, afluências, e restrições operativas tais como: taxas de variação dos armazenamentos e das defluências. As regras de operação são elaboradas considerando duas condições: operação normal e operação em emergência.

### 3.1 Prevenção de Cheias

Dentro da primeira etapa, denominada prevenção, serão aqui abordados métodos utilizados para o cálculo dos volumes de espera para controle de cheias. O primeiro método adotado é o chamado Método da Curva Volume x Duração, conforme Beard (1963), adaptado ao Sistema Brasileiro.

#### 3.1.1 Método da Curva Volume x Duração

Este método relaciona, para cada intervalo de tempo com duração de  $d$  dias consecutivos, o máximo volume afluente, definido por:

$$va(d) = \max_{0 < t < h-d+1} \left[ \sum_{j=0}^{d-1} (q(t+j) \times \Delta t) \right]$$

onde.  $va(d)$  - máximo volume afluente para a duração de  $d$  dias,  
 $d$  - duração em dias;  
 $q(t-j)$  - vazão média no dia  $t+j$ ,  
 $\Delta t$  - intervalo de discretização do tempo (1 dia = 86400 s);  
 $h$  - número de dias da estação chuvosa;  
 $t$  - dia

Para cada local de interesse, a partir da série histórica de vazões naturais médias diárias e admitindo uma vazão defluente máxima que não cause danos a jusante (descarga de restrição), pode-se definir, para cada ano hidrológico, o volume vazio necessário para absorver cheias com qualquer duração. Este volume, denominado volume de espera para o ano  $i$ , pode ser representado pela seguinte expressão:

$$ve(i) = \max[va(d) - d \cdot qr \cdot \Delta t, d = 1, 2, 3, \dots, h]$$

onde.  $ve(i)$  - volume de espera para o período chuvoso do ano hidrológico  $i$ ;  
 $qr$  - descarga de restrição;

A duração associada a este volume é chamada duração crítica.

A questão que se pretende resolver é a determinação de alternativas de volumes de espera a serem consideradas nos estudos de prevenção de cheias. Como não se sabe qual será a sequência de